

## Триботехнические свойства многослойных наноструктурированных ионно-плазменных покрытий

Е.О. Тлеукиенов<sup>1)</sup>, С.В. Плотников<sup>1)</sup>, Н.К. Ердубаева<sup>1)</sup>, А.Д. Погребняк<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>ВКГГУ им. Д. Серикбаева, 070004, Усть-Каменогорск, Казахстан, [erick\\_090@mail.ru](mailto:erick_090@mail.ru)

<sup>2)</sup>Сумский государственный университет, 40000, Суммы, Украина, [alexp@i.ua](mailto:alexp@i.ua)

Проведено исследование влияния толщины нанослоев TiN и ZrN на механические и триботехнические свойства вакуумно-дуговых нитридных покрытий системы TiN/ZrN. Покрытия обладают хорошей износостойкостью, величина износа составляет  $(1.3-1.5) \times 10^{-5} \text{ мм}^3 \times \text{Н}^{-1} \times \text{мм}^{-1}$ . Наибольшая твердость (27.2 ГПа) достигнута в нитридных покрытиях, осажденных вакуумно-дуговым испарением, при толщине слоев TiN/ZrN - 39 нм, при толщине ZrN - 20 нм, а TiN - 19 нм.

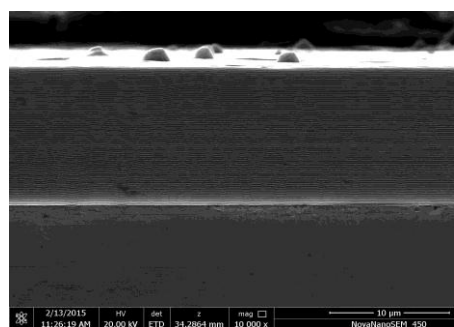
### Введение

Одним из путей улучшения свойств покрытий на основе нитридов и карбидов тугоплавких соединений является создание многослойных многофункциональных покрытий, которые могут использоваться для увеличения работоспособности режущего инструмента, работающего при высоких скоростях (температурах) резания, повышения надежности узлов трения [1]. Проведенный анализ литературных данных свидетельствует о перспективности применения многослойных покрытий, в котором слои, состоящие из нитридов тугоплавких материалов, имеют толщину порядка 20-30 нм. Покрытия, состоящие из двух периодически повторяющихся слоев нитридов твердых тугоплавких металлов, обладают высокой твердостью, т.к. чередующиеся поля напряжений в этих слоях препятствуют движению дислокаций. В работе исследованы механические и триботехнические характеристики многослойных покрытий TiN/ZrN с различными по толщине нанослоями TiN и ZrN [2-7].

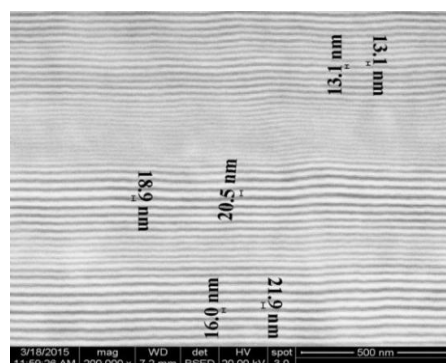
### Экспериментальная часть

Покрытия получали вакуумно-дуговым методом из двух испарителей, один из которых содержал титан марки ВТ-1-00, второй – цирконий, полученный методом ЭЛП. В качестве подложек для напыления покрытий были выбраны образцы размером (15x15x2.5 мм) из стали 12X18H9T ( $R_a = 0,09 \text{ мкм}$ ). Было нанесено три серии покрытий: 1 серия - пара слоев TiN/ZrN имела толщину 39 нм при толщине ZrN – 20 нм и TiN-19 нм (общая толщина покрытия составила 19 мкм); 2 серия - TiN/ZrN – 71 нм при толщине ZrN – 36 нм и TiN-35 нм (общая толщина покрытия 11 мкм); 3 серия - TiN/ZrN – 305 нм при толщине ZrN 124 нм и TiN - 81 нм (общая толщина покрытия ~ 13 мкм). Морфология поверхности, фрактограммы излома, дорожки трения исследовались на растровом электронном микроскопе FEI NovaNanoSEM 450. Исследование фазово-структурного состояния проводилось на дифрактометре ДРОН-3М в излучении Cu-K $\alpha$ . Трибологические испытания проводились на воздухе по схеме «шарик-диск». В качестве машины трения использовался «Tribometer» (CSM Instruments). Покрытия осаждались на поверхность полированных цилиндрических образцов ( $R_a = 0.088 \text{ мкм}$ ), изготовленных из стали 45 (диаметр 42 мм, высота 5 мм). В ка-

честве контртела использовался шарик диаметром 6.0 мм, изготовленный из спеченного сертифицированного материала - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Нагрузка составляла 6.0 Н, скорость скольжения - 10 см/с. Испытания соответствуют международным стандартам ASTM G99-959, DIN50324 и ISO 20808. Твердость покрытий измеряли с помощью твердомера модели ДМ-8 по методу микро-Виккерса, при нагрузке на индентор 0,1 Н. Твердость покрытий составила: для 1 серии Н = 27.2 ГПа; для 2 серии Н = 27 ГПа; для 3 серии Н = 26.7 ГПа. На рис. 1 представлено электронно-микроскопическое изображение покрытия 1 серии.



а)



б)

Рис. 1. Изображение общего вида сечения многослойного покрытия TiN/ZrN: а - при увеличении  $\times 10\,000$ ; б - при увеличении  $\times 100\,000$ .

Рентгенофазовый анализ свидетельствует, что в многослойном покрытии TiN/ZrN формируется двухфазное состояние с развитием преимущественной ориентации с осью [111], перпенди-

кулярной плоскости роста, как в слоях TiN, так и в слоях ZrN.

Результаты трибологических испытаний покрытий TiN/ZrN с различным соотношением толщин слоев TiN и ZrN при комнатной температуре приведены в таблице 1.

Таблица 1. Трибологические характеристики покрытий TiN/ZrN

Соотношение слоев в сериях покрытий TiN/ZrN, нм	Коэффициент трения		Фактор износа, $\text{мм}^3 \times \text{Н}^{-1} \times \text{мм}^{-1}$	
	начало	при испытаниях	контртело ( $\times 10^{-6}$ )	образцы с покрытием ( $\times 10^{-5}$ )
1 серия, 19/20	0.59	1.0	2.2	1.4
2 серия, 35/36	0.62	1.2	2.0	1.5
3 серия, 81/124	0.62	1.1	1.9	1.3

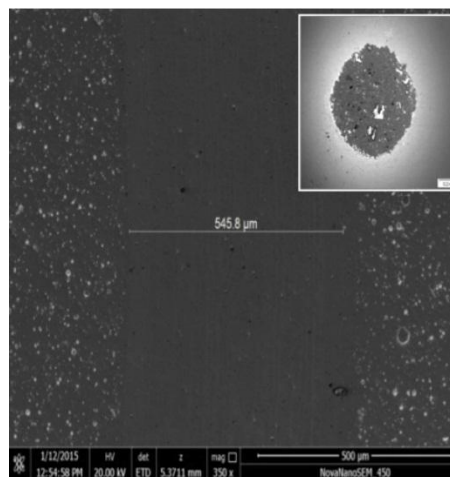
Покрытия обладают высоким коэффициентом трения в паре с шариком из  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Профиль износа и вид сверху дорожки трения на поверхности покрытия представлен на рис. 2.

### Заключение

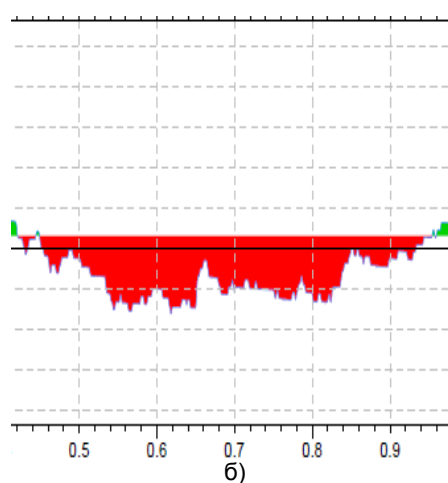
Все покрытия обладают хорошей износостойкостью, величина износа составляет  $(1.3-1.5) \times 10^{-5} \text{ мм}^3 \times \text{Н}^{-1} \times \text{мм}^{-1}$ . Износ контртела невысокий и варьировался в интервале  $(1.9-2.2) \times 10^{-6} \text{ мм}^3 \times \text{Н}^{-1} \times \text{мм}^{-1}$ . В процессе испытания не происходит скалывания, растрескивания и отслоения покрытий, они обладают хорошей адгезией к подложке. В ходе абразивного износа материал покрытий пластически деформируется, наблюдаемая картина износа характерна для мягких металлов.

### Список литературы

1. Pogrebnjak A.D., Pshyk A.V., Beresnev V.M., Zholybekov B.R. Protection of specimens against friction and wear using titanium-based multicomponent nanocomposite coatings: A review // J. of Friction and Wear. 2014. V. 35. № 1. P. 55-66.



а)



б)

Рис. 2. Изображение дорожки трения покрытия TiN/ZrN (1 серия): а - общий вид дорожки трения; б - профиль износа покрытия.

2. Gotoh Y., Nagao M., Ura T., Tsuji H., Ishikawa J. // Nucl. Instr. Methods Phys. Res. 1999. № B 148. P. 925.
3. Selinder T.I., Miller D.J., Gray K.E. // Vacuu. 1995. № 46. P. 1401.
4. Makino Y., Saito K., Murakami Y., Asami K. // Solid State phenomena. 2007. № 127. P. 195.
5. Barshilla H.C., Deepthi B., Rajam K.S., Mater J. // Res. 2008. № 23. 1258.
6. Franz R., Lechthaler M., Polzer C., Mitterer C. // Surf. Coat. Technol. 2010. № 204. 2447.
7. Holec D., Franz R., Mayrhofer P.H., Mitterer C. // J. Phys. 2010. № D 41. P. 145403.

## TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF NANOSTRUCTURED MULTILAYER ION-PLASMA COATINGS

Y.O. Tleukenov<sup>1)</sup>, S.V. Plotnikov<sup>1)</sup>, N.K. Erdybaeva<sup>1)</sup>, A.D. Pogrebnjak<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>D. Serikbayev EKSTU, 070004, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan, erick\_090@mail.ru

<sup>2)</sup>Sumy state university, 40000, Sumy, Ukraine, alexp@i.ua

The influence of TiN and ZrN nanolayers thickness on the mechanical and tribological properties of the vacuum-arc nitride coating of TiN/ZrN system was studied. The coatings have good wear resistance, the wear resistance value amounts  $(1.3-1.5) \times 10^{-5} \text{ мм}^3 \times \text{Н}^{-1} \times \text{мм}^{-1}$ . Maximum hardness (27.2 GPa) was achieved in nitride coatings deposited by vacuum arc evaporation at 39 nm thickness of TiN/ZrN films. For ZrN the thickness was -20 nm, for TiN -19 nm.